



이동형 플랫폼을 이용한 해양 방사선 능동감시 시스템 개발



장미

한국원자력연구원 책임연구원

• 서울대학교 원자핵공학 학사, 석사, 박사

- 한국원자력의학원 연구원
- 한국원자력연구원 선임연구원
- 한국원자력연구원 책임연구원

서론

후쿠시마 원전 사고에서 보듯이 주변국에서 원전사고가 발생할 경우 원자력 사고 초기뿐만 아니라 일정 시간이 흐른 후에도 복구 단계에서는 방사성폐기물, 오염수와 같은 사고 처리 과정에서 주변국에 영향을 줄 가능성이 높아진다. 즉 주변국에서 원전사고가 일어날 경우 방사성 물질이 바람과 해류를 따라 한반도에 유입될 가능성이 있으며 이에 대한 환경 방사선 변동 추이 및 영향에 대한 모니터링이 필요하다. 이러한 극저준위의 변화를 관측, 평가할 수 있는 시스템에 대한 연구는 주로 방사선 사고 시 육상이나 공중 탐사를 중심으로 일부 수행되었으나 해양의 경우 수중 환경의 열악성에 따른 적용 방식의 한계로 초기 수준의 연구 단계를 보이고 있다.

본론

1. 능동감시 시스템

해양에서의 방사선 감시는 육상과 달리 그 운용이 쉽지 않다. 그 이유는 무엇보다도 해상에서는 전원 공급 및 통신이 자유롭지 못하다는 점이다. 특히 육상에서 가장 많이 사용되는 대표적인 감마핵종 모니터링 장비 중 하나인 NaI(Tl) 섬광체와 PMT(Photo Multiplier Tube) 기반의 검출 시스템을 운용하기 위해서는 1000~2000V의 안정적인 고전압 공급과 계측된 데이터 송수신을 위한 통신 기술이 필요하다. 이러한 시스템 운용 환경을 만족시키기 위해서 현재까지 대부분의 해양 방사선 감시 장비는 [그림 1]과 같이 연안 및 부이에 설치되어 수동감시를 하고 있다. 그러나 해양에서는 해수에 의하여 대부분의 감마선이 감쇄되거나 산란되어 들어오기 때문에 육상에 비하여 방사성 물질에 가까이 접근하지



[그림 1] 부이형 해수방사능 감시기

(출처: 2019년 한국원자력안전기술원 해양환경방사능조사보고서)

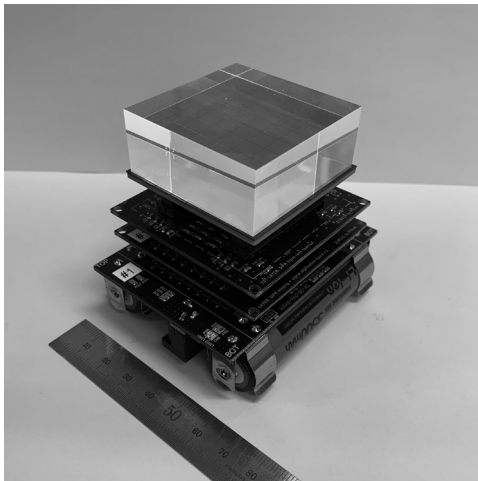
않을 경우 검출 효율이 급격히 떨어지게 된다. 이런 이유로 사고지역 혹은 검출 가능성이 높은 지역으로 이동하여 감시할 수 있는 능동감시 시스템이 필요하며 이러한 목적에 맞춰 방사선 센서와 이동형 플랫폼의 개발이 필요하다.

2. 해양 방사선 센서 개발

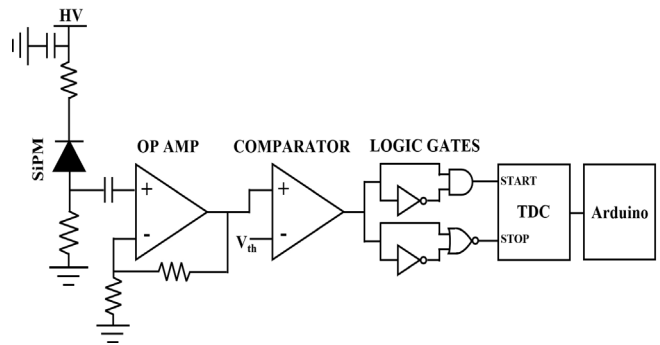
해상에서 사용할 방사선 센서는 육상과는 다른 운용 환경으로 인해 다음과 같은 3가지 조건이 필요하다. 첫 번째는 해수에 의하여 감마선이 감쇠되므로 적은 양의 감마선도 검출이 가능한 고민감도·고효율 검출기가 필요하다. 즉, 방사선에 대해 민감도가 높은 섬광체를 사용하며, 높은 집광 효율을 가지는 검출기 디자인이 필요하다. 두 번째는 광역 신속 이동형 플랫폼을 이용할 경우 설치 공간의 특성을 고려하여 방사선 센서의 소형화가 필요하다. 세 번째는 해양의 열악한

인프라를 고려하여 해양에서 단독으로 동작할 수 있도록 개개의 검출기 모듈 내에 전원 공급, 신호 처리, 무선 통신 등의 기능을 지니는 일체형 모듈 형태로 개발되어야 한다.

이러한 조건들을 만족시키기 위해 우선 몬테카를로 전산모사 기법을 이용하여 다양한 섬광결정체와 광센서를 이용하여 검출기를 디자인하였다. 이때 검출기의 소형화를 위하여 기존에 많이 사용하는 PMT가 아닌 SiPM(Silicon Photomultiplier)을 사용하여 디자인하였으며 시뮬레이션과 실험 결과를 토대로 섬광결정체는 GAGG(Gadolinium Aluminium Gallium Garnet)를 선택하였다. 방사선 센서의 소형화를 위해 시간 기반 데이터 획득 회로를 개발하여 검출기 전단회로의 고집적화(high integration)가 이루어졌으며, 일체형 모듈화를 위해 전단회로 상에 해수 온도 변화에 따른 온도 보상회로 및 온-보드 바이어싱(on-board



(a)



(b)

[그림 2] (a) 해양 방사선 센서 및 (b) 시간 기반 데이터 획득 회로

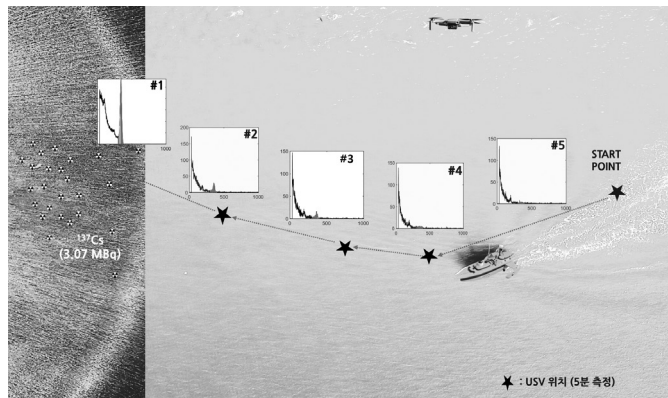
biasing)기능을 탑재하였다. 최종적으로 데이터 무선 통신을 위한 Zigbee 및 LoRa 기능을 추가하여 [그림 2]와 같이 해양 방사선 센서를 개발하였다. 개발된 방사선 센서는 해양 수동감시를 위해 많이 사용하는 NaI(Tl)에 비해 무게는 1/4, 부피는 1/3로 줄였으며 약 560g의 무게로 이동성이 뛰어나다. 또한 저전력 신호처리 및 무선통신기법을 적용해 자체 배터리만으로도 24시간 이상 운용이 가능하다.

3. 무인자동로봇 기술과의 결합 및 오염원 추적 능력 평가

해양 방사선 무인 자동 감시시스템의 이동형 플랫폼 개발을 위해서는 한국해양과학기술원(이하 KIOST)과 협업연구가 수행되었다. KIOST는 [그림 3]과 같은 수중무인이동체(USV, Unmanned Surface Vehicle)를 개발하였으며 이를 이용하여 실험해역에서의 오염원 추적 평가 실험을 진행하였다. USV는 목적에 따라



[그림 3] USV를 이용한 해양 방사선 무인 자동 감시시스템



[그림 4] 해양 방사선 무인 자동 감시 시스템의 실해역 오염 추적 성능 평가

사용자가 직접 조종하거나 사전 입력한 좌표를 따라 자율 이동할 수 있으며 현재 최대 4시간, 최대 시속 16km/h로 이동하며 8km 떨어진 거리까지 데이터 전송이 가능하다.

방사선 센서를 USV에 탑재하고 Cs-137 선원을 고정시킨 후 선원으로부터 일정거리 떨어진 지점부터 USV는 탐사를 시작하도록 설정하였다. 피크 분석을 통해 오염원 감지시 탐색 거리를 좁혀 가며 측정을 진행하였으며 [그림 4]와 같이 선원과의 거리 3m 수준부터 유의미한 Cs-137 피크가 검출되기 시작하였다. 결과적으로 해양 방사선 무인 자동 감시시스템은 실해역에서 오염원 추적에 성공하였으며 현장 적용이 가능함을 확인하였다.

맺음말

주변국의 원자력 사고 시 이를 조기 탐지하고 대응하기 위해서는 평상시 이루어지는 고정 포

스트를 이용한 수동 감시에 더하여 사고 의심 지역으로 직접 이동하여 감시를 수행할 수 있는 능동 감시 시스템이 필요하다. 해양의 경우 특히 전원 공급이나 데이터 통신 환경이 열악하여 이러한 환경에 적합한 기술 개발이 필요하다. 한 국원자력연구원에서는 이러한 환경에서도 바로 적용이 가능한 방사선 센서를 무인자동로봇 기술과 결합하여 해양 방사선 무인 자동 감시시스템을 개발하였다. 부이 등을 이용한 기존 고정식 해양 감시 장비와 달리 이 시스템은 능동적으로 이동하며 오염원의 위치 및 유입경로를 추적하여 넓은 해역을 감시할 수 있다는 장점을 가진다. 해양 방사선 무인 자동 감시 시스템을 평상시에는 넓은 해역의 환경방사선 데이터를 확보하고 주변국의 원자력 사고와 같은 비상 사고 시에는 해양 방사선의 광역 감시망 구축에 활용한다면 해양 환경을 지키고 나아가 국민의 안전에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. **KIIF**